

震災に対する地域の定性的残存リスク評価モデルの開発

著者	虫明 一郎
著者別名	MUSHIAKI Ichiro
雑誌名	東洋大学大学院紀要
巻	57
ページ	1-22
発行年	2021-03
URL	http://doi.org/10.34428/00012729

震災に対する地域の定性的残存リスク評価モデルの開発

国際学研究科国際地域学専攻博士後期課程3年

虫明 一郎

論文要旨

著者は現在、震災に対する市区町村の地域防災力の向上のため、「どのような取り組みをすれば防災力が上がるのか」といった命題への回答を導くことを目的に研究を進めている。本論文で提示する評価モデルは、市区町村レベルの震災の人的被害リスクについて、地域防災施策による逓減を考慮することで、地域の残存リスクを総合的に評価する方法を提案するものである。具体的には、エンタープライズ・リスク・マネジメント（Enterprise Risk Management：ERM）におけるリスク評価式から巨大地震に対する地域の残存リスクに関して整理した基本モデル式を導き、それを基に研究を進め、6つのリスクシナリオ（直接死の死因）：①建物倒壊（振動）、②屋内収容物移動・転倒、屋内落下物、③ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物、④急傾斜地崩落、⑤火災、⑥津波について、評価モデルの開発を行うものである。このうち、本論文では、これまでの検討に用いてきた基本モデル式をより精緻な表現にできる形への修正と、著者らが既往研究で提案した【定性的危険度、防災・減災の対応力が評価できるモデル】に【災害被害発生頻度評価、脆弱性評価：物理的・地理的脆弱性、社会的脆弱性、ハード対策計画（指標）評価】を追加した『地域の定性的残存リスク評価モデル』を提案し、その活用例を示すものである。

[キーワード]

地域の残存リスク評価、地域防災計画、震災による人的被害

目次

1. はじめに
2. 本論文の目的
3. 定期的残存リスク評価モデルの開発
 - 3.1 地域の残存危険度モデルの課題

- 3.2 地域残存リスクの基本モデル式の修正
- 3.3 修正地域残存リスクの基本モデル式を用いた定性的残存リスク評価モデルの開発
- 3.4 基本モデル式及び評価モデルの導入経緯と改良の経過
- 4. 定性的残存リスク評価モデルのヒートマップへの適用と評価
 - 4.1 定性的残存リスク評価モデルのヒートマップへの適用
 - 4.2 既往研究で作成したヒートマップとの比較による定性的残存リスク評価モデルの評価
- 5. まとめ

1. はじめに

首都直下地震や南海トラフ地震の発生が言われる中、東日本大震災やその後の災害を経て地域の安全を守るための地域防災・減災の対応が進んでいる。そのような中、公助から自助・共助への重要な橋渡し役である市区町村レベルの防災・減災にマクロ的・総合的視点で焦点をあてた研究や取組み状況に鑑み（6）、著者らは企業におけるリスクと対策の関係から残存リスクを分析するエンタープライズ・リスク・マネジメント（Enterprise Risk Management：ERM）の考え方に着目し、巨大地震に対する市区町村の防災・減災の取組状況を概観し、そこから得られた情報をもとに課題の考察を行った。その上で巨大地震に対するリスクや危険度並びに地域防災・減災状況の評価方法及び地域防災計画指針ツールの開発、つまり、巨大地震に対する防災・減災によるリスクの逡減を考慮した「地域の残存リスク」を体系的に評価、明示することにより防災意識を高め、実効性のある地域防災計画の策定によって人命を守ることを目的とする研究を行なっている（7）。

上記の研究全体の目的の達成を目指し、著者らはこれまで、地域残存危険度モデル（プロトタイプモデルおよび改良プロトタイプモデル）を提案し（9）、これにより、地域防災力の構成要素である「地域におけるリスク認知・把握」が可能となった。しかしながら、地域残存危険度モデルでは、永松ら（2009）が命題としている「どのような取り組みをすれば防災力が上がるのか」を評価することまでには至っていない。

2. 本論文の目的

著者らは、上述の「どのような取り組みをすれば防災力が上がるのか」を説明できるモデルを開発し、さらに、できる限り平易で簡易に情報を提供することを目指して研究を進めているが、これまでの研究成果として本論文で提示する「定性的残存リスク評価モデル」を開発した。このモデルでは、ヒートマップ（5）を利用することで、定性的ではあるものの平易で簡易に情報を提供することを可能としている。

本論文では、「定性的残存リスク評価モデル」の導出課程、および、このモデルが著者らがこれまで提示してきた「地域残存危険度モデル」に比べ、地域の防災力向上の取り組みに

向けた評価がどの程度改善されたかを示すことを目的としている。

なお、各評価項目相互のウェイト付けを行うことや、総合指数等を算出することは本論文の目的とはしていない。

3. 定性的残存リスク評価モデルの開発

3.1 地域の残存危険度モデルの課題

前述の通り、著者らはこれまで、地域残存危険度モデルにより、地域防災力の構成要素のうち、「地域におけるリスク認知・把握」を可能としたが、永松ら（2009）が命題としている「どのような取り組みをすれば防災力が上がるのか」を評価することはできていない。

そこで、災害リスクの評価に関する先行研究や報告について調査を行い、地域の脆弱性も含めたボーリン（Christina Bollin）らの総合的な災害評価の研究（ボーリンら、2003）、東京都の地域危険度調査報告（東京都都市整備局、2018）、菊本らの自然災害に対するリスク指標（GNS）の研究（菊本ら、2017）について、永松ら（2009）の災害リスクの構成要素（ハザード、暴露、脆弱性（物理的脆弱性、社会的脆弱性）、対応力）をもとに整理したところ、表1のような成果が得られた。

表1 先行研究の災害リスク構成要素の整理

災害リスクの構成要素(永松らによる)	ハザード		暴露	物理的脆弱性	社会的脆弱性	対応力	
Bollinらの総合的な災害評価の研究※	発生頻度	重大度	建物数、人口	人口密度、ハザード内の世帯	貧困率、識字率、選挙投票率	社会的対応力	物理的・工学的・管理・制度的対応力
菊本らの自然災害に対するリスク指標(GNS)	災害発生頻度		災害の影響下にある人口割合	脆弱性(強靱性:脆弱性の従属変数の取扱い) ハード対策の脆弱性:戸建て耐震化率、公共施設耐震化率、非防火木造住宅割合 ソフト対策の脆弱性:老年人口指数、被保護実人員割合、自主防災組織活動カバー率			
東京都地域危険度評価	該当なし		地盤特性、建物量、建物特性		該当なし		

ボーリンら、菊本らの研究、東京都の地域危険度調査報告をもとに著者作成
※本研究目的に照らし、経済的要素は除き、環境の脆弱性は物理的脆弱性に含め、物理的・工学的対応と管理・制度的能力を一つにまとめた。

3.2 地域残存リスクの基本モデル式の修正

著者らのこれまでの研究では、地域残存リスクの基本モデル式を式1としていた。

$$RR = AC \times LL \times LD1 \times LD2 \times DPRN \times DPRL \times DRR \quad (\text{式1})$$

ここで

RR：地域の残存リスク

AC：日本における震災の固有危険度（震度別過去の地震データの直接死者数の最大値、または津波浸水深による死者の発生状況）

LL：地域補正（社会の脆弱性等による地域別発生状況）

LD1：地震発生頻度

LD2：地震発生による2次災害発生頻度（火災・津波の場合）

DPRN：国・県レベルの防災による通減：国土形成計画（国土利用計画）に基づく対策及び防災基本計画～都道府県の地域防災計画（市区町村の地域防災計画に含まれない対策）

DPRL：地域防災計画による市区町村レベルの防災施策による通減（防災施策：震災発生前に実施する施策）

DRR：減災施策による通減（減災施策：震災発生後の行動により人的被害に影響がある施策及びそのための事前整備）

一方、表1の整理をもとに著者らが既往研究で提示してきたモデルの構成要素を比較すると表2の通りとなり、地域の残存危険度モデル式（式1）における該当なしの構成要素が明らかになった。

表2 災害リスク構成要素と著者らの既往研究との比較表

災害リスクの構成要素(永松らによる)	ハザード		暴露	物理的脆弱性	社会的脆弱性	対応力			
ERMモデル式	発生可能性	影響度				対策等による通減			
自然災害モデル式	様々なシナリオ別の被害状況					防災・減災対応による通減			
地域残存リスク基本モデル式	地震発生頻度(LD1) ×2次災害発生頻度(LD2)	人的被害の固有危険度	地域補正	該当なし		市区町村の防災施策による通減	市区町村の減災施策による通減	市区町村の物理的・工学的・管理的・制度的対応力	国・県レベルの防災による通減(ハード対策含む)
	LD1×LD2	AC	LL			DPR _L	DRR	該当なし	DPR _N
地域の残存危険度モデル式	該当なし	AC	LL			DPR _L	DRR	該当なし	該当なし

注)ERMモデル式:残存リスク=発生可能性×影響度×対策等による通減

自然災害モデル式:防災・減災対応後の被害の状況=様々なシナリオ別の被害状況×防災・減災対応による通減

地域残存リスク基本モデル式:地域の残存リスク=LD1×LD2×AC×LL×DPR_L×DRR×DPR_N

地域残存危険度モデル式:地域の残存危険度=AC×LL×DPR_L×DRR

表2の整理結果から、以下に示すような地域の残存危険度モデル式の構成要素の変更、再定義や新たな定義が必要となった(10)。

- ・人的被害発生頻度の1本化
- ・物理的・地理的脆弱性と社会的脆弱性を追加
- ・市区町村の現在の防災・減災の取組状況については、対応力の構成要素にくくり直し、対応力は社会的対応力と物理的・制度的・工学的対応力とソフト対応とハード対応に分類（修正後の各構成要素は表3のように分類される。）

表3 災害リスクの構成要素の分類

先行研究分類	社会的対応力	物理的・工学的・管理的・制度的対応力
ソフト対応	・ソフト対応（防災） ・ソフト対応（減災）	・地域防災計画補正
ハード対応	・該当なし	・ハード対応計画補正

地域残存リスクの基本モデル式の各項は上記の変更を受けて以下の通り変更となる。

$LD1 \times LD2 \rightarrow LD$

$LL \rightarrow E \times PGV \times SV$

$DPRN \times DPRL \times DRR \rightarrow SCMP \times SCMR \times LPP \times HCMP$

これらの検討を反映した形の基本モデル式は式2となる（以下、修正地域残存リスクの基本モデル式と呼ぶ）。

$RR = LD \times AC \times E \times PGV \times SV \times SCMP \times SCMR \times LPP \times HCMP$ （式2）

ここで

RR：地域の残存リスク

LD：ある一定期間に地震（振動系死因）・震災火災・津波により死者が発生した頻度

AC：日本における震災の固有危険度（震度別過去の地震データの直接死者数の最大値、または津波浸水深による死者の発生状況）

E：暴露補正

PGV：物理的・地理的脆弱性（公助に起因する脆弱性を含む）：住宅密集度や建物の強度、河川堤防の強度等の物理的構造による部分（永松ら、2009）

SV：社会的脆弱性（住民個人の行動に起因する脆弱性）：高齢者や外国人・障がい者等災害時要援護者の比率等の社会構造に起因する部分（永松ら、2009）

SCMP：ソフト対応（防災）：市区町村レベルの防災ソフト施策による逓減（ソフト対応：知識や実践を用いる非構造的対策、例えばハザードマップや災害対応マニュアル整備等（菊本ら、2017））

SCMR：ソフト対応（減災）：市区町村レベルのソフト減災施策による逓減（減災施策：震災発生後の行動により人的被害に影響がある施策及びそのための事前整備）

LPP：市区町村の地域防災計画の定性評価による補正

HCMP：ハード対応計画補正：国土形成計画（国土利用計画）に基づく対策及び防災基本計画～都道府県の地域防災計画（ハード対応：危険度の影響を軽減・回避するための物理的対策で、例えば公共建造物の耐震化や老朽化した社会インフラの更新等（菊本ら、2017））

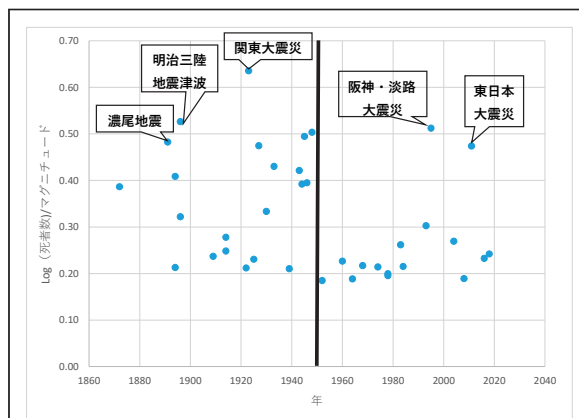
3.3 修正地域残存リスクの基本モデル式を用いた定性的残存リスク評価モデルの開発

修正された地域残存リスクの基本モデル式を基に各災害リスク構成要素の評価内容・指標及び具体的な評価方法を以下のように定め、定性的残存リスク評価モデルの開発を行った。

①災害被害発生頻度評価

(LD再定義による評価追加)

残存危険度モデルでは、河田（1997）の考えに則り、人的被害の最大値を危険度として取り扱っているが、その最大値に発生頻度を考慮することにより期待値的な評価が可能となる。災害被害発生頻度については、先行研究（ボーリンら、2003；菊本ら、2017）を基にある一定期間の人的被害の状況について、地震（振動系死因：リスクシナリオ①～④）、震災津波、火災の3つの被害に分類して、直接死発生の頻度を評価基準として用いた。災害被害は脆弱性の変化により進化するので、残存リスクの検討にあたっては、期間の選定が重要である。図1は明治以降の震災被害（直接死20名以上）の震災を対象として、直接死者数の常用対数をマグニチュードで除して標準化を行ったものである。人的被害の規模は



令和元年防災白書等をもとに作成

図1 震災の人的被害規模推移（直接死20名以上）

表4 災害分類別人的被害の発生状況
(直接死1人以上対象) (回)

	合計	地震	津波	火災
1868-2018(明治元年～平成30年):151年	101	96	16	12
1868-1949(明治元年～昭和24年):82年	56	52	9	7
1950-2018(昭和25年～平成30年):69年	45	44	7	5
1年あたり				
1868-2018(明治元年～平成30年)	0.67	0.64	0.11	0.08
1868-1949(明治元年～昭和24年)	0.68	0.63	0.11	0.09
1950-2018(昭和25年～平成30年)	0.65	0.64	0.10	0.07

令和元年防災白書等をもとに作成

都市災害の阪神・淡路大震災と津波災害の東日本大震災を除き、1950年を境に小さくなっている。一方、地震の被害分類別人的被害（1名以上）の発生頻度を見ると、1950年を境に変化は見られなかった（表4）。従って、明治元年～平成30年までを期間とする地震、津波、震災火災の発生頻度を評価基準として用いる。震災で人的被害（直接死）が発生した場合の10年あたりの頻度は地震（振動）9.5回、津波1.6回、震災火災1.2回の頻度である。

②定性的危険度評価（LLをEとPGVに再定義、但し、評価方法は既往研究まま）

人的被害の固有危険度、暴露補正及び物理的・地理的脆弱性の一部の評価は、著者らが地域の残存危険度の提示で考案した定性的危険度を用い、リスクシナリオ毎に評価を行う。リスクシナリオ①～⑤は10倍ごとの間隔尺度でゼロの設定もあるので比例尺度的の意味合いも持つが、⑥津波は順序尺度なので、3つの分類について、発生頻度との積による比較評価を行うことはできないことに留意する必要がある。

③脆弱性指標による評価（PGVの一部とSV新定義により評価追加）

定性的危険度の物理的・地理的脆弱性、社会的脆弱性の補正を目的として、脆弱性指標に

よる評価（脆弱性指標評価）を新たに導入した。脆弱性の指標は先行研究及び中央防災会議の人的被害算出、国土強靱化推進本部の脆弱性評価で用いられた指標の中から人的被害に影響がある指標を選択し、表5にまとめた。表中には、先行研究及び前述の先行研究や資料で該当する指標を○で示し、各指標の平均値及びその基準値並びに数値の出所となる参考文献を付記した。評価方法については、各指標平均値を基準として、市区町村の値が平均値以上の場合を－（マイナス、危険度が減少）、未満の場合を＋（プラス、危険度が増加）とし、物理的・地理的脆弱性と社会的脆弱性を別々に評価し、プラス・マイナスの該当数をそれぞれ記載することとした。但し、非防火木造住宅割合、出火件数、被保護者比率、要支援者の比率ではプラス・マイナスが逆となる。

耐震化率は菊本ら（2017）のGNSに倣い、公共施設耐震化率と住宅耐震化率を別々に評価し、公共施設耐震化率については多数の者が利用する建築物の耐震化率を使用し、建物倒壊（振動）シナリオの他、南海トラフ地震防災対策推進基本計画フォローアップ結果（内閣府政策統括官（防災担当）、2019a）では火災対策の指標となっているので、火災シナリオの指標にも加えた。屋内落下物のシナリオの指標としては、中央防災会議の人的被害の想定指標となっている家具固定率とした。

表5 脆弱性指標平均値

指標	平均値	基準年	Bollin	GNS	中央防災会議	国土強靱化推進本部	数値出所
住宅耐震化率(全国)	約82%	平成25年		○	○	○	1)
公共施設耐震化率(全国)	約85%	平成25年		○		○	1)
家具固定率(全国)	40%	平成29年11月			○		1)
感震プレーカー設置率(推進地域内の「地震時等に著しく危険な密集市街地」)	15%	平成30年			○		2)
「地震時等に著しく危険な密集市街地」の解消割合(推進地域内の全都道府県)	28.3%	平成30年3月				○	1)
非防火木造住宅割合	40%	平成29年		○			3)
出火件数(件/万人)	3.0	平成30年			○		4)
水門・樋門等の耐震化率	48%	平成29年				○	5)
水門・樋門等の自動化・遠隔操作化率	56%	平成29年				○	5)
海岸堤防等の整備率	47%	平成29年				○	5)
津波直接避難開始率	28.4%	平成30年			○		2)
津波避難開始率	88.6%	平成30年			○		2)
被保護者比率	16.6%	平成30年	○	○			6)
要支援者の比率	48%	2020年3月		○			7)
自主防災活動カバー率(南海トラフ地震推進地域内の全世帯数)	88.7%	平成30年4月		○			1)
地方選挙投票率	48.7%	平成27年	○				8)

ボーリンら、菊本らの研究、中央防災会議の人的被害算出、国土強靱化推進本部の脆弱性評価をもとに著者作成
(数値出所)

1)内閣府政策統括官(防災担当)令和元年5月 南海トラフ地震防災対策推進基本計画フォローアップ結果

2)内閣府政策統括官(防災担当)令和元年6月 南海トラフ巨大地震の被害想定について

3)総務省統計局 平成30年住宅・土地統計調査

4)総務省消防庁 令和元年消防白書

5)国土強靱化推進本部 平成30年8月 脆弱性評価の結果

6)総務省統計局(平成30年7月末)平成30年度被保護者調査(月次調査)

7)総務省統計局 人口推計(2020)

8)総務省選挙部 平成31年3月 目で見る投票率

出火件数については、中央防災会議（2012a、2013）の地震火災による被害では、震度別用途別出火率（震度毎の飲食店、物販店、住宅・共同住宅別等の用途別の出火率）と用途別要因火災の積により出火件数を算出したうえで震災火災の人的被害を算出している。つまり、物理的脆弱性から出火件数が算出されているが、都道府県別の出火件数は、1万人あたり4.5件から1.6件まで約3倍の差があり（総務省消防庁、2019）、この差が地域の社会的な特性により生ずるものであると考え、これを社会的脆弱性の指標として採用した。火災シナリオではこのほかに、「地震時等に著しく危険な密集市街地」と同地域内の感震ブレーカーの設置率、木造住宅数のうち防火木造でない住宅の比率（非防火木造住宅割合）を指標とした。

津波シナリオについては、水門・樋門等の耐震化率、自動化・遠隔操作化率及び海岸堤防等の整備率を物理的・地理的脆弱性の指標とした。社会的脆弱性は、津波直接避難開始率（発災10分後（夜間）に避難を開始する人の割合）とそれに用事後避難（発災20分後（夜間）に避難を開始する人の割合）を足した津波避難開始率を指標とした。避難開始時期を10分後までと20分後までの2つの基準としたのは、地域の残存危険度モデルで考案した津波の定性的危険度では、津波到達時間30分以内、20分以内、10分以内で定性的危険度が増し、脆弱性の評価が異なってくるからである。

振動系死因シナリオの社会的脆弱性は、菊本ら（2017）のGNSに倣い、生活保護を受けいている人の割合（人口千対比）の被保護者比率を指標としたが、振動系死因シナリオの対策については、住民の個人負担があり自助によるところが大きく、ボーリンら（2003）も社会的脆弱性のインディケーターとして貧困率を用いているからである。避難が伴う火災と津波のシナリオに対しては、65歳以上人口を15歳から64歳人口で除した要支援者比率と、共助の指標ともいえる全世帯数に対する自主防災組織がカバーする世帯数の自主防災活動カバー率を指標とした。

ボーリンらは、社会的脆弱性のインディケーターとして、社会の意思決定に参加することを許されている住民の割合、いわゆる参政権、民主化の進行度合いとして、選挙投票率を採用し、民主化が進むにつれて災害に対する脆弱性が減少するとしている（ボーリンら、2003）。本研究においては、選挙投票率を民主化の進行度合いを測るための指標としてでなく、住民個人の行動に起因する社会的脆弱性の潜在的な指標として採用した。このことは地域防災力の構成要素として、社会学の分野では比較的早くから指摘されてきた、防災を直接の対象としない活動でも防災に役立つという、永松らの研究における潜在力の考え方によるものである。

④防災・減災の対応力評価（再定義、SCMP、SCMRの評価は既往研究まま、LPPの評価は追加）

著者らが地域の残存危険度モデルで考案した防災・減災に係る啓発・助成の市区町村の

HP公表状況を基にした定性的通減モデルを用いる。振動系シナリオでは各対策の啓発情報や助成のHP公表有無により評価し、火災シナリオのソフト対応（防災）では、電気関係の出火防止として、感震ブレーカーの啓発情報や助成のHP公表有無により、ソフト対応（減災）では、初期消火成功率の向上として、初期消火啓発のHP公表有無と震災火災の避難先となる大規模火災避難場所のHP公表有無で評価する。津波シナリオについては、安全で確実な避難の確保のための津波避難ビルと津波到来時間のHP公表有無で評価している。

著者は、HP公表状況の調査に続き、100市区町村を対象に地域防災計画のサンプリング調査を行ったが(4)、記載内容の定性評価項目の中から以下の人的被害の防災・減災に効果のある取組を地域防災計画補正として、防災・減災の対応力評価に追加した。地域防災計画補正では以下の情報の地域防災計画への記載有無若しくは記載該当数により評価を行った（表6）。

表6 地域防災計画の定性評価による防災・減災取組インディケーター

		NA	取組インディケーター				
			D	C	B	A	S
	記載比率	NA	NA	NA	33%超	33%以内	5%以内
建物倒壊		なし				あり	
	記載比率	89%				11%	
屋内収容物移動・転倒、屋内落下物		なし				あり	
	記載比率	89%				11%	
ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物		なし	1-2種類	3種類		4種類	
	記載比率	8%	33%	30%		29%	
急傾斜地崩落		なし			あり		
	記載比率	40%			60%		
火災防災		なし				あり	
	記載比率	69%				31%	0%
津波減災		なし	1つ	2つ		3つ	
	記載比率	21%	31%	25%		23%	

各シナリオの最上位の取組み評価のインディケーターについては、100市区町村の割合により、S、A、Bと希少度に応じて表示を変えている。

建物倒壊と屋内収容物落下等のシナリオについては、「地震だ、身を守れ（火元閉栓は揺れが収まってから）」といった震災時にはまず身の安全を確保し、火元閉栓は揺れが収まってからの啓発情報の記載有無で評価した。

屋外落下物等のシナリオについては、①ブロック塀、②自動販売機、③外付広告塔・看板等、④窓ガラス・屋根瓦・外壁の4つの対策啓発について、何種類記載されているかで評価した。

急傾斜地崩落シナリオについては、急傾斜地対策事業の実施、促進や県への要請等の記載有無で評価した。

火災シナリオについては通電火災予防として、避難時のブレーカー遮断啓発の記載有無で

評価した。

津波シナリオについては、①避難開始時期啓発（大きな地震や長い地震が来たら避難情報を待たずに避難すること）、②避難にあたっては周りへの声かけや率先避難者となることの啓発、③津波から避難する場合の自動車利用時の地域の合意形成規定の3つのうちいくつが記載されているかで評価した。なお、記載がある場合若しくは該当数最上位の評価については、著者らの地域の残存危険度モデル（虫明、松丸、2002a、2002c）と同様に、今回の100市区町村の割合によりS（全体の5%以内がHP公表）、A（全体の33%以内がHP公表）、B（全体の33%超がHP公表）と希少度に応じて表示を変えた（表6）。

⑤ハード対応の評価（HCMP再定義による評価追加）

前述の通り脆弱性指標評価では、平均値データの集計年から数年経年しているものもあることから、それを補完し、防災・減災の対応力評価の補正を目的として、脆弱性指標評価のハード対応の内、目標値が明示されている指標をハード対応計画（指標）評価として新たに導入した（表7）。各指標目標値を基準として、市区町村での達成の見込みがある場合を＋（プラス、対応力が増加）とし、それぞれの該当数を加点的に評価することとした。

表7 ハード対応計画目標値

指標	目標値	基準年	Bollin	GNS	中央防災会議	国土強 靱化推 進本部	数値 出所
住宅耐震化率目標(全国)	95%	平成32年		○			1)
公共施設耐震化率目標(全国)	90%	平成27年		○			1)
家具固定率目標(全国)	65%	—			○		1)
「地震時等に著しく危険な密集市街地」の解消 割合目標(推進地域内の全都道府県)	100%	平成32年度				○	1)
水門・樋門等の耐震化率目標	77%	平成32年度				○	2)
水門・樋門等の自動化・遠隔操作化率目標	82%	平成32年度				○	2)
海岸堤防等の整備率目標	69%	平成32年度				○	2)

ボーリンら、菊本らの研究、中央防災会議の人的被害算出、国土強靱化推進本部の脆弱性評価をもとに著者作成
(数値出所)

1)内閣府政策統括官(防災担当) 令和元年5月 南海トラフ地震防災対策推進基本計画フォローアップ結果

2)国土交通省 平成29年度行政事業レビューシート

3.4 基本モデル式及び評価モデルの導入経緯と改良の経過

本論文の目的並びに改良状況と著者らの既往研究との関連を明示的に説明するため、表8に基本モデル式及び評価モデルの導入経緯と改良の経過を示す。表8からわかる通り、本論文で提示した定性的残存リスク評価モデルの開発により、これまでの残存危険度モデルでは評価できなかった発生頻度、定量的指標による評価、ハード面での評価などが可能となっている。つまり、シナリオ別評価方法のⅠ. 災害被害発生頻度評価、Ⅲ. 脆弱性指標評価、Ⅳ-2. 地域防災計画定性評価、Ⅴ. ハード対応計画（指標）評価（表8灰色部分）の評価が

可能となり、地域防災力の評価をより精緻に行うことができるようになった。

具体的には式の改良により、評価項目が以下のように改善されている。

表 8 基本モデル式及び評価モデルの導入と改良の経緯

(○:採用、×:未採用、-:未定義の災害リスクの構成要素)

Enterprise Risk Management(ERM)モデル式より地域残存リスク基本モデル式の導入												
ERMモデル式		発生可能性		影響度				対策等による通減				
自然災害モデル式		様々なシナリオ別の被害状況						防災・減災対応による通減				
地域残存リスク基本モデル式	地震発生頻度×2次災害発生頻度	人的被害の固有危険度		地域補正				市区町村の防災施策による通減	市区町村の減災施策による通減	市区町村の物理的・工学的・管理・制度的対応力	国・県レベルの防災による通減(ハード対策含む)	
	LD1×LD2	AC		LL		-		DPR _L	DRR	-	DPR _N	
地域の残存危険度モデル式を導入し、地域の残存危険度モデル(プロトタイプモデル)を開発												
地域の残存危険度モデル式	×	○		×		-		○		-	×	
地域の残存危険度モデル(プロトタイプモデル)		想定震度	震度別市区町村の死者の発生状況※1				啓発・助成HP公表状況の評価					
地域の残存危険度モデル式の改良(地域補正採用による振動系死因定性的危険度の改良)・拡充(火災・津波の定性的危険度導入)												
地域の残存危険度モデル式	×	○		○		-		○		-	×	
地域の残存危険度モデル(改良プロトタイプモデル)		想定震度	震度別市区町村の死者の発生状況※2		政令指定都市該当有無	人口密度比	啓発・助成HP公表状況の評価		-	×		
		浸水深	浸水深による死者の発生状況※3		津波到達時間							
地域残存リスク基本モデル式の修正(災害リスク構成要素の再定義、新定義)と定性的残存リスク評価モデル開発(補強機能が新評価領域)												
改良の種類	再定義	変更なし		再定義		新定義		再定義				
Bollinらの構成要素	ハザード			暴露	物理的(人口統計)脆弱性	社会的脆弱性		社会的対応力	物理的・工学的・管理・制度的対応力			
修正地域残存リスクの基本モデル式	人的被害の発生頻度	人的被害の固有危険度		暴露補正	物理的・地理的脆弱性	社会的脆弱性		ソフト対応(防災)	ソフト対応(減災)	地域防災計画補正	ハード対応計画補正	
	LD	AC		E	PGV	SV		SCMP	SCMR	LPP	HCMP	
定性的残存リスク評価モデル	I. 災害被害発生頻度評価	II. 定性的危険度評価			III. 脆弱性指標評価			IV. 防災・減災の対応力評価			V. ハード対応	
	地震(振動系死因)・震災火災・津波により死者が発生した頻度	変更なし			顕在力定量的指標(住宅耐震化率等)		潜在力指標(地方選挙投票率)	変更なし		地域防災計画定性評価	ハード指標達成見込み評価	
時間軸	現在まで						現在～将来					将来

※1:対象リスクシナリオ(①建物倒壊(振動)、②屋内収容物移動・転倒、屋内落下物、③ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物、④急傾斜地崩落)
※2:対象リスクシナリオ(※1に⑤火災を追加)
※3:対象リスクシナリオ(⑥津波)

① 災害発生頻度の1本化による改善

- ・頻度の評価の導入が容易となり、残存危険度(被害が発生した場合の想定される最大リスク)に頻度の評価を加えることで、残存リスクとしての地域防災力の評価が可能となった。

② 物理的・地理的脆弱性と社会の脆弱性を追加による改善

- ・市区町村の防災・減災の取組状況について、対応力分類の導入と併せて、現在までの結果が出ている取組と、結果の測定が必ずしもできない現在～将来にわたって効果のある取組(対応力)に分類することを容易にした。
- ・住宅耐震化率等の定量的指標による評価導入を可能とした。また、住宅耐震化率のような顕在力の評価に加えて、地方選挙投票率の潜在力の評価も可能とした。

③ 対応力(社会的対応力/物理的・制度的・工学的対応力、ソフト対応/ハード対応)分類

導入による改善

- ・ 前述②の通り、市区町村の防災・減災の取組状況の内、現在～将来にわたって効果のある取組として、ソフト対応（防災）、ソフト対応（減災）として再定義することを容易にし、また、物理的・制度的・工学的対応力の分類導入により、地域防災計画の定性評価も地域残存リスク評価モデルの一評価として組み込むことができた。
- ・ ハード対応の分類導入により、将来の防災力に影響のあるハード面での定量的指標による評価を追加することができた。

4. 定性的残存リスク評価モデルのヒートマップへの適用と評価

4.1 定性的残存リスク評価モデルのヒートマップへの適用

次に地域の定性的残存リスク評価モデルのインディケーション表示範囲と近畿地方の人口1万人未満の海岸部の町を例に作成したヒートマップ例を示す（表9）。インディケーション表示の青色のハイライトが本論文で新たに評価可能となった領域である。

表9 定性的残存リスク評価モデルのインディケーション表示範囲とヒートマップ例										
①インディケーション表示範囲										
修正地域残存 リスクモデル式		人的被害の 発生頻度	人的被害の 想定危険度	暴露 補正	物理的・地理的 脆弱性	社会的 脆弱性	ソフト対応 (防災)	ソフト対応 (減災)	地域防災計 画補正	ハード対応計画 補正
		LD	AC	E	PV	SV	SCMP	SCMR	LPP	HCMP
No	シナリオ別 評価方法	I. 災害被害 発生頻度 評価※1	II. 定性的危険度評価		III. 脆弱性指標評 価		IV. 防災・減災の対応力評価		IV-2. 地域 防災計画 定性評価	V. ハード対応 計画 (指標) 評価
①	建物倒壊	9.5	S0～S4	-1～+1	-3～+3	NA～B	-	NA/A	0～+2	
②	屋内収容物			-	-3～+3	NA～A		NA/A	0～+1	
③	屋外落下物			-	-2～+2	NA～A		NA/A	-	
④	急傾斜地崩落			-	-2～+2	NA～S		NA/B	-	
⑤	火災	1.2	K0～K3	-2～+2	-7～+7	NA～S	NA～A	NA/A	該当なし～+1	
⑥	津波	1.5	T0～T5	-3～+3 (該当なし)	-5～+5 (該当なし)		NA～A	NA～A	該当なし～+3	

②ヒートマップ例										
人口(千人)		8	津波浸水面 積 (ha)	浸水深30cm以上	270	津波到達最短時間(分)		13		
想定最大震度		7		浸水深1m以上	260	(津波高: +1m)				
自然災害区分※2		NA		浸水深2m以上	230					
①	建物倒壊	9.5	S2	-1	-2/+1	B	-	NA	+2	
②	屋内収容物		S1	-	-2/+1	NA		NA	+1	
③	屋外落下物		S1	-	-1/+1	C		A	-	
④	急傾斜地崩落		S2	-	-1/+1	NA		B	-	
⑤	火災	1.2	K1	-1	-4/+3	NA	D	NA	該当なし	
⑥	津波	1.5	T4	-3	-4/+1		C	D	+3	

※1: 日本における明治元年から平成30年までの間に震災で人的被害(直接死1人以上)が発生した場合の10回あたりの発生頻度
 ※2: 都市災害区分、都市型災害区分、NA(適用なし)

なお、ヒートマップの例示にあたり、「Ⅲ. 脆弱性指標評価」については、物理的・地理的脆弱性と社会的脆弱性別に各指標の市区町村数値が平均値以上となる場合（マイナス表記、危険度が減少）、未満となる場合（プラス表記、危険度が増加）の該当数の上限・下限数を表している。なお、津波については、津波被害が想定されていない市区町村の場合は該

当なしとなる。また、「Ⅴ. ハード対応計画（指数）評価」については、目標値の達成見込みの該当数の範囲を示しているが、火災については、目標指標とした「地震時等に著しく危険な密集市街地」に該当しない市区町村もあり、津波については、津波被害が想定されていない市区町村もあることから該当なしを加えた。

ヒートマップ例では、「Ⅰ. 災害被害発生頻度評価」、「Ⅱ. 定性的危険度評価」、「Ⅳ. 防災・減災の対応力評価」については、それぞれ著者研究の調査結果を基に実際のインディケーション表示を行ったが、「Ⅲ. 脆弱性指標評価」、「Ⅴ. ハード対応計画（指標）評価」における指標については、調査に基づかない例示のため仮のインディケーション表示である。ヒートマップの色分けは、例えば、振動系、火災、津波を死因とする定性的危険度は、それぞれS1、S2、K1、K2、T1、T2、を黄色、S3、K3、T3以上を赤色で表示し、防災・減災の対応力評価は、NAを赤色、D、Cを黄色、B～Sを緑色で表示する等である。

ヒートマップ例からわかることは、以下のようなことである。

（リスクシナリオ別）

- ・津波の定性的危険度が高い（T4：赤色）、一方、防災・減災の対応力評価については十分でない可能性がある（C,D：黄色）。
- ・建物倒壊及び急傾斜地崩落については共に10人単位の死者の発生の可能性（S2：黄色）がある。

建物倒壊は、HP公表状況の評価は良好（B：緑色）、地域防災計画の定性評価は要注意（NA：赤色）

→建物の耐震化の取組みは他市区町村との比較で相対的に良いが、震災時の身の安全確保についてどのような啓発活動を行っての再確認する必要がある。

急傾斜地崩落は、HP公表状況の評価は要注意（NA：赤色）地域防災計画の定性評価は良好（B：緑色）

→急傾斜地対策事業の実施、促進や県への要請等の取組みの記載はあるが、住民への土砂災害特別災害地域の公表や急傾斜地崩落対策助成制度の取組みについて再確認する必要がある。

（災害リスク構成要素別）

- ・物理的・地理的脆弱性やハード対応計画（指標）評価については、危険度の逡減（マイナス表示）や、対応力が増加する可能性があること（プラス表示）を示唆している。
- ・社会の脆弱性評価についてはプラス・マイナスが混在しており、プラスの指標（危険度が増加）については、対策が十分でない可能性があり、対応の要否を含めた検討対象となりうる。

4.2 既往研究で作成したヒートマップとの比較による定性的残存リスク評価モデルの評価

既往研究で作成した残存危険度モデルのヒートマップでは、定性的危険度と各シナリオ毎の対策の啓発・助成などのHP公表状況による評価であったため、前述の通り「地域におけるリスク認知・把握」に留まっていた。定性的残存リスク評価モデルでは、各リスクシナリオ毎に評価対象とする数種類の定量的指標設定などにより、よりきめ細かな「顕在的対応力、潜在的対応力」の評価を可能にし、既往研究でのソフト対応に加えてハード面での対応評価も可能となり（表9の青色のハイライト）、「どのような取り組みをすれば防災力が上がるのか」の命題への答えとして、より精緻な評価が可能となった。

5. まとめ

本論文では、筆者がこれまでの研究で提示してきたきた震災に対する「地域の残存危険度評価モデル」を、先行研究を踏まえて修正し「地域の定性的残存リスク評価モデル」として提示した。そして、修正地域残存リスクの基本モデル式の各構造要素に対応したⅠ、Ⅲ、Ⅳ-2、Ⅴの4つの評価方法を新たに提案し、著者らの既往研究で提案したⅡ、Ⅳ-1の評価方法をつなぎ合わせて、リスクシナリオ毎に定性的な評価を行うことを可能とした。今後の研究では、本モデルによる地域防災計画指針ツール開発と実務への応用について、検討・提案を行う予定である。

【補注】

- (1) 震度計で観測した計測震度に基づく震度観測が開始され、気象庁が現震度階級に変更後の地震を対象としたデータである気象庁の「日本付近で発生した主な被害地震（平成8年以降）」を基に平成30年北海道胆振東部地震までを対象に、市区町村別の直接死の発生状況の調査を行った。死因の調査は、内閣府、消防庁、警察庁の被害状況報告の他、一般新聞紙、自治体の震災記録誌等の公開資料により調査した。なお、東日本大震災については、死因の大多数が津波でその他の死因については一様のデータがないことから対象外とした。
- (2) 中央防災会議(2012b)の内閣府が設定した浸水深別の死者率関数（浸水深30cmで死者が発生し始め、浸水深1mでは津波に巻きこまれたすべてが死亡すると仮定した関数である。）及び河田（2010）の住宅流出に関する以下の記述「1983年の山陰豪雨災害で浸水深が2メートルになり、その流速がおおよそ毎秒4メートルを超えると、住宅は浮上し、流され始めることが見出された。」を基に津波死者が発生する30cm、ほぼ全員が死亡する1m、及び住宅の2階に避難しても流される2mを浸水深基準として設定した。
- (3) 目黒（2001）は、「災害は進化する」として、「入力としての災害（ハザード）が変化しているのではなく、それを出力である被害（ディザスター）に変換する社会システムの変化がもたらす現象として理解できる。」と述べ、社会の脆弱性が変化していることを述べている。

- (4) 研究目標②地域防災状況の定性評価モデル開発のため地域防災計画のサンプリング調査を進めている。この調査は地域防災計画の防災・減災に関連した情報の記載有無や記載内容の定性評価及び地域防災計画とHP公表情報の間の情報乖離の把握等を目的として、南海トラフ地震防災対策推進地域、津波避難特別強化地域及び首都直下地震緊急対策区域、重複を除く923市区町村の中から100市区町村のサンプリング調査を行った。
- (5) ヒートマップとは、一般的にはデータの数値を強弱で色分けした可視化グラフである。本研究では評価の度合いにより、危険度や対応状況の強弱で色分けし、強み、弱みや課題の把握を容易にすることを目的としている。
- (6) 市区町村レベルの防災・減災にマクロ的・総合的視点で焦点をあてた研究や取組みとしては、地域防災の基本計画となる「地域防災計画」の形骸化を論じた永松ら(2005)の研究や地域防災力・危機管理能力の充実を図るために消防庁が実施した防災力評価指針の策定（消防庁、2004）まで約15年間さかのぼらなければならず、それ以降は個別の市町村や特定の震災を対象とした研究や、テーマを絞った研究となっているのが現状である。また、永松ら（2009）は、地域防災力の評価における災害リスクの構成要素として、ハザード、暴露、脆弱性、対応力を挙げているが、地域防災力を評価した既存研究によれば、そのほとんどが対応力のみを主たる評価対象としていることを述べ、既存の地域防災力の評価は、ハードによる災害抑止力や被害の拡大をもたらす要因としての脆弱性は考慮に加えないという共通の特徴があるとしている。さらに永松らは、脆弱性評価については、都市構造、建築構造などを対象とした研究が、土木学会や日本建築学会等で実施されており、実務的な世界では東京都都市整備局（2008）の地域危険度評価などがあるとして、脆弱性評価としての地域危険度評価と対応力評価としての地域防災力評価が別々に研究開発されていたとしている。
- (7) 巨大地震に対する防災・減災による危険度の通減を考慮した「地域の残存リスク」を体系的に評価、明示することにより防災意識を高め、実効性のある地域防災計画の策定によって人命を守ることを目的とする研究については、地域の防災・減災状況の評価の簡便な方法の提供と限られた人員での実効性のある地域防災計画の策定のため、以下の3つのモデルの開発を研究の目標としている。
- ① 地域の残存危険度モデル開発
 - ② 地域防災状況の定性評価モデル開発
 - ③ 地域防災計画指針ツール開発

著者らはこれまでに、①の開発にあたっては、ERMの残存リスクモデル式から地域の残存リスク基本モデル式（基本モデル式）を導き、それを基に震度別過去の地震データの直接死者数の調査（1）、阪神・淡路大震災の人的被害の再調査・分析や津波浸水深による死者の発生状況の先行研究(2)を基にした定性的危険度、および、市区町村の防災の取組に関するホームページ（HP）公表情報による防災・減災の通減モデルを考案し、その2つの組み合わせによる「地域の

残存危険度モデル」及びそのプロトタイプとして、首都直下地震を対象にした振動系死因に関するモデル及び地域の残存危険度モデル式を提示し、さらに、南海トラフ地震も対象とし、火災・津波死因も追加した改良プロトタイプモデル及改良地域の残存危険度モデル式を提案している（虫明・松丸、2020a、2020b、2020c）（8）。

このことは、国土強靱化推進本部（2018）の「脆弱性評価の結果」においても、「大規模自然災害の発生から最悪の事態に至る論理構造の分析を踏まえ、事象の発生確率や被害の大きさ等を定量的にシミュレーションして脆弱度を評価していく手法や、多くの論理構造に共通する部分があること等を踏まえて重点化していく手法等について発展途上であり、官学が連携し調査研究を行い、その結果を普及啓発していく必要がある。」とされていることからわかるように、対応力だけでなく暴露や脆弱性も含めた総合的な評価の研究は道半ばであり、本研究のような想定されるリスクや危険度から防災・減災によるリスクや危険度の逡減を考慮した地域の残存リスクを体系的に評価した研究は「発展途上」に属する研究分野であるといえる。このことの裏付けとして、国土強靱化推進本部（2018）の「脆弱性評価の結果」、消防庁国民保護・防災部（2018）の「地方防災行政の現状」、内閣府政策統括官（防災担当）（2019）の「南海トラフ地震防災対策推進基本計画フォローアップ結果」等の災害に対する近年の防災・減災の取組状況報告も、全国的な水準の報告や行政運営、いわゆる公助の防災運営に係る報告や官公庁レベルの防災対応状況の計画目標に対する進捗状況の報告で、対応力偏重の評価報告となっている。

- (8) 著者らは、以下の通り、地域の残存リスク基本モデル式から残存危険度モデル式導き、それに基づく地域の残存危険度モデルとして、プロトタイプモデルを提案している。

・地域の残存リスクの基本モデル式

著者の研究は、ERMにおけるリスク評価式を基に巨大地震の残存リスクに関して整理した基本モデル式(式1)を基に研究を進めている。なお式1では、震災による直接死を対象とするリスクとして扱い、市区町村の防災・減災対応状況を残存リスク算定の対象としている。

$$RR = AC \times LL \times LD1 \times LD2 \times DPRN \times DPRL \times DRR \quad (\text{式1})$$

ここで

RR：地域の残存リスク

AC：日本における震災の固有危険度（震度別過去の地震データの直接死者数の最大値、または津波浸水深による死者の発生状況）

LL：地域補正（社会の脆弱性等による地域別発生状況）

LD1：地震発生頻度

LD2：地震発生による2次災害発生頻度（火災・津波の場合）

DPRN：国・県レベルの防災による逡減：国土形成計画（国土利用計画）に基づく対策及び防災基本計画～都道府県の地域防災計画（市区町村の地域防災計画に含まれない対策）

DPRL：地域防災計画による市区町村レベルの防災施策による逡減（防災施策：震災発生前に

実施する施策)

DRR：減災施策による通減（減災施策：震災発生後の行動により人的被害に影響がある施策及びそのための事前整備）

本研究では、南海トラフ地震防災対策推進地域、津波避難特別強化地域及び首都直下地震緊急対策区域（対策指定地域）、重複を除く923市区町村（全国1741市区町村の半数以上（53%）をカバー）の全てを研究・調査対象としている。各評価モデルの開発にあたっては、直接死の死因として、巨大地震による死亡・不明者要因として中央防災会議報告（2012/2013）の人的被害の内訳として報告された6つのリスクシナリオ（①建物倒壊（振動）、②屋内収容物移動・転倒、屋内落下物、③ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物、④急傾斜地崩落、⑤火災、⑥津波）を設定し、各評価モデルの開発を行っている。

・地域の残存危険度モデルの開発

地域の残存リスク算定簡易モデルの開発にあたっては、河田(1997)が人的被害の予測の精度と上限値について「被害想定がすべて解析的に説明できるというのは間違いであって、巨大システム（現在の都市社会もそうである）はそれ自体が事前に解析不可能な特性をもっていることをまず認めることだろう。」と述べ、「起こり得る人的被害の最大値、すなわち上限値を予測することが重要となる。」と述べていることを根拠として、リスクから発生頻度を除いた定性的危険度を導入した。定性的危険度は、振動系死因（前述リスクシナリオ①～⑥）と火災については震度別に、津波については浸水深別の評価基準を設定し、評価を行っている。一方、防災・減災の通減モデルは、市区町村の防災・減災のための住民への啓発・助成に係るHP公表情報を基に考案し、定性的危険度と防災・減災の通減モデルを組み合わせることで「地域の残存危険度モデル」および基本モデル式を導いた。前述の通り、地域残存危険度モデルは、プロトタイプモデル及びモデル式（式2）とそれに続いて、改良プロトタイプモデル及改良モデル式（式3）を提案した。

$$RC = AC \times DPRL \times DRR \text{ (式2)}$$

$$RC = AHD \times DPRL \times DRR \text{ (式3)}$$

ここで

RC:地域の残存危険度

AHD=AC×LL：地域の脆弱性を考慮した震災・災害が発生した場合の人的被害（直接死の発生状況）

- (9) 目黒（2001）が指摘するように、社会の脆弱性は時々変化する（3）が、著者らが提示したプロトタイプモデルの検討時点では、評価対象とする市区町村全ての社会の脆弱性の変化をその時々で把握することは困難と考え、地域と社会の脆弱性の変化を含めていなかった。一方、改

良プロトタイプモデルでは阪神・淡路大震災の人的被害の再調査・分析等を基に地域の脆弱性等の地域補正を政令指定都市の有無や人口密度で判断し地域補正を行ったが、社会的脆弱性の評価は研究の対象外とした。地域の脆弱性等を加味したことで、改良プロトタイプモデルは、都市部や沿岸部も含めた地域の想定震度や津波浸水深による定性的な死者の発生状況の把握を容易にし、市区町村の防災の取組状況の相対比較評価を可能とした。

(10) 地域残存リスクの基本モデル式の構成要素の再定義や新たな定義等の状況は以下のとおりである。

①人的被害の発生頻度の再定義

本研究前の基本モデル式では災害の発生頻度を「地震発生頻度：LD1」と「地震発生による2次災害発生頻度（火災・津波の場合）：LD2」に分けて定義していた。災害リスクを評価する目的は、一般的には人的被害の他、建物被害、社会インフラ被害及び復興費用の算定であるが、本研究では人的被害（直接死）のみを研究対象のリスクとしている。従って、地震・火災・津波が発生しても必ずしも死者が発生するわけではなく、また、振動系・火災・津波を死因とする人的被害を比較検討する場合には、ある一定期間に地震（振動系死因）、震災火災、津波により死者が発生した頻度：LDに限定した方が各死因の発生頻度の比較検討が容易となるので、人的被害の発生頻度についてはLDとして再定義した。

②地域補正の細分化

「地域補正：LL」については、ボーリンら（2003）の構成要素を基に人口規模に関連した「暴露補正：E」を導入し、脆弱性については「物理的・地理的脆弱性：PGV」と「社会的脆弱性：SV」に細分化した。永松ら（2009）の分類では、住宅密集度や建物の強度、河川堤防の強度等の物理的構造による部分（物理的脆弱性）と、高齢者や外国人・障がい者等災害時要援護者の比率等の社会構造に起因する部分（社会的脆弱性）に分けているが、本研究では物理的脆弱性に公助による脆弱性を追加定義し、社会的脆弱性に住民個人の行動に起因する脆弱性を追加定義した。また、ボーリンら（2003）の物理的脆弱性のインディケータにハザード内の世帯数が含まれているので名称を物理的・地理的脆弱性とし、公助に起因する脆弱性も含めた。

③施策等の通減の評価方法と構成要素の再定義

ボーリンら（2003）の構成要素では、脆弱性と対応力を別々に評価し、菊本ら（2017）のGNSの研究では、強靱性（対応力）を脆弱性の従属変数とし、ハード対策とソフト対策の脆弱性に分けて指標評価しているが（表1）、GNSの指標評価では、評価する時点で評価しきれていない定性的評価の対応力があると考え、ボーリンらの構成要素に倣い、脆弱性と対応力を別に評価することとした。また、菊本らの指標評価では、評価年から数年経年しているものもあることから、補正として、ハード対応計画補正を加えた。ここで、対応力は必ずしも現時点での

評価ではなく、将来にわたる評価も含まれ、ハード対応計画補正は一般的には将来の見込みを評価することになるが、現時点での市区町村の取り組み姿勢を評価していることに留意する必要がある。なお、対応力については、菊本らの研究に倣い、ソフト対応とハード対応に分類し、基本モデル式の「地域防災計画による市区町村レベルの防災・減災施策による通減：DPRL、DRR」を「ソフト対応（防災）：SCMP」、「ソフト対応（減災）：SCMR」として再定義し、「国土形成計画（国土利用計画）等に基づく国・県レベルの防災による通減：DPRN」を「ハード対応計画補正：HCMP」と再定義した。ソフト対応（防災）、ソフト対応（減災）は防災・減災に係る啓発・助成の市区町村のHP公表状況の調査結果を基にした評価であるが、市区町村の物理的・制度的・工学的対応力として、市区町村の地域防災計画の定性評価（100市区町村を対象にした防災・減災に関連した情報の記載有無によるサンプリング調査(4)）を「地域防災計画の定性評価による対応補正：LPP」として追加した。

【参考文献】

- Christina Bollin, Camilo Cárdenas, Herwig Hahn, and Krishna S. Vatsa (2003) “Disaster risk management by communities and local governments”, Inter American Development Bank
- 河田恵昭（1997）「大規模地震災害による人的被害の予測」自然災害科学16-1、pp.3-13
- 河田恵昭（2010）「津波災害-減災社会を築く」、初版、岩波書店
- 菊本統、下野勘智、伊藤和也、大里重人、稲垣秀輝、日下部治（2017）「我が国の自然災害に対する統合的リスク指標」土木学会論文集F6（安全問題）73巻1号、pp. 43-57
- 国土強靱化推進本部（2018）「脆弱性の評価 平成30年8月」内閣官房
- 消防庁（2004）「地方公共団体の地域防災力・危機管理能力評価指針の策定 調査報告書」総務省
- 消防庁国民保護・防災部（2018）「地域防災行政の現況（平成29年度及び平成30年4月1日現在における状況）」総務省消防庁
- 総務省消防庁（2019）「令和元年消防白書」総務省
- 中央防災会議（2013）「首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）平成25年12月」内閣府
- 中央防災会議（2012a）「南海トラフ巨大地震の被害想定について 平成24年8月29日」内閣府
- 中央防災会議（2012b）「南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」内閣府
- 東京都都市整備局（2008）「あなたのまちの地域危険度・地震に関する地域危険度測定調査（第6回）」
- 東京都都市整備局（2018）「地震に関する地域危険度測定調査報告書（第8回）平成30年2月」
- 内閣府政策統括官(防災担当)（2019a）「南海トラフ地震防災対策推進基本計画フォローアップ結果 令和元年5月」内閣府

内閣府政策統括官(防災担当) (2019b)「南海トラフ巨大地震の被害想定について 令和元年6月」
内閣府

永松伸吾、林春男、河田恵昭 (2005)「地域防災計画にみる防災行政の課題」地域安全学会論文集
7巻、pp.395-404

永松伸吾、長坂俊成、臼田裕一郎、池田三郎 (2009)「「地域防災力」をどう評価するか」防災科
学技術研究所研究報告 (74)、pp.1-11

虫明一郎、松丸亮(2020a)「首都直下地震緊急対策区域における市町村の地域残存リスク算定モデ
ルの検討」地域安全学会論文集No.36 (電子ジャーナル論文), No3

虫明一郎、松丸亮 (2020b)「震災の人的被害の定性的危険度導入・設定に関する考察」地域安全
学会論文集No.37 (2020年8月29日登載決定)

虫明一郎、松丸亮(2020c)「巨大地震の危険度に対する市区町村の定性的逓減モデルに関する研究」
第61回土木計画学研究発表会 (春大会)、81-2

目黒公郎 (2001)「大規模地震の動的被害予測モデル」地学雑誌110巻6号、pp.900-914

Development of a Qualitative Residual Risk Assessment Model for the Region against the Earthquake

MUSHIAKI, Ichiro

Abstract:

The author is currently conducting research with the final goal of deriving answers to propositions such as "what kind of measures should be taken to improve earthquake disaster prevention capabilities" in order to improve the regional disaster prevention capabilities of municipalities. The evaluation model presented in this paper proposes a method that comprehensively evaluates the residual risk in the region by considering the gradual reduction of human risk of loss of life caused by earthquakes at the municipal level due to regional disaster prevention measures. Specifically, based on the risk assessment formula used in Enterprise Risk Management (ERM), the basic model formula that organized/calculated the residual risk of the area in the case of a large earthquake was introduced and it has developed the evaluation model for six risk scenarios (causes of direct death): ①Building collapse (vibration) ②Movement / fall of indoor contents, indoor falling objects, ③Block wall/s / vending machine/s falling, outdoor falling object/s, ④Steep slope collapse, ⑤Fire, and ⑥Tsunami.

In this paper, the basic model formula used in previous studies has been modified for clarity and precision (Formula 1). In addition, the author proposes a qualitative residual risk assessment model for the region in which disaster damage frequency evaluation, vulnerability evaluation, and hardware countermeasure plan evaluation are added to the model. This can evaluate the qualitative crisis and disaster prevention / mitigation responsiveness that were proposed in the previous studies. Furthermore, it will demonstrate a utilization example.

$$RR = LD \times AC \times E \times PGV \times SV \times SCMP \times SCMR \times LPP \times HCMP \text{ (Formula 1)}$$

Where :

RR: Residual risk in the region

LD: Likelihood of disaster deaths due to earthquakes (causes of vibration system death), earthquake fires, and tsunamis over a certain period of time

AC: Assumed crisis of earthquakes in Japan (maximum number of direct deaths in past earthquake data by seismic intensity, or deaths due to tsunami inundation depth)

E: Exposure compensation

PGV: Physical and geographical vulnerabilities (including vulnerabilities caused by public assistance)

SV: Social vulnerability (vulnerability due to individual behavior of residents)

SCMP: Software's capacity and measures for disaster prevention reduction (disaster prevention)

SCMR: Software's capacity and measures for disaster risk reduction response (disaster mitigation)

LPP: Local disaster prevention plan's correction for capacity and measures of municipalities by qualitative evaluation

HCMP: Hardware's capacity and measures plan correction

Keywords:

local residual risk assessment, local disaster management plan, human casualties by earthquake